

補助事業番号 2021M-174  
補助事業名 2021年度 CFRPのためのインパクトパンチプレス加工法の最適化補助事業  
補助事業者名 香川大学 創造工学部 創造工学科 先端材料科学領域 松田研究室  
代表者 松田伸也

## 1 研究の概要

CFRPのための機械的せん断加工法を開発し、2次加工のタクトタイム短縮を目指す。本事業では、パンチング加工をターゲットとする。落錘によるインパクト加工により、加工時間の短縮を図るとともに、高い品位を得る加工法を最適化する。初めに、準静的および落錘荷重によるパンチング加工を行い、速度や落錘条件、パンチ刃およびワーク温度が加工品位に及ぼす影響を調査した。その後、有孔引張試験から最適な加工条件を実験的に探索した。次に、加工条件最適化のために、パンチングせん断強度予測モデルの構築を試み、理論的な観点からアプローチした。

## 2 研究の目的と背景

低炭素・低エネルギー社会の構築が課題となる中、輸送機器などの軽量化は燃費向上や高効率化につながる重要な課題の1つである。それを解決するために高比強度を有する炭素繊維強化プラスチック複合材料（Carbon fiber reinforced plastics：CFRP）は自動車の薄板部材など大量生産品に適用されている。一般に、CFRP部材はニアネットシェイプ成形されるため、穴あけやトリミングなどの2次加工が必要である。大量生産される部材の成形加工に許容されるタクトタイムは短いため、大量生産に対応した技術開発が必要である。そこでCFRPのための機械的せん断加工法を開発し、2次加工のタクトタイム短縮を目指す。本事業でのターゲットはパンチング加工であり、落錘によるインパクト加工で加工時間の短縮を図るとともに、高い品位を得る加工法を最適化する。

## 3 研究内容

### (1)加工条件と加工品位のデータベース化および実験的に適切な加工条件の探索

(<https://www.eng.kagawa-u.ac.jp/~matsuda/images/JKA2021seika.pdf>)

準静的および落錘荷重によるパンチング加工を行い、速度や落錘条件、パンチ刃およびワーク温度が加工品位に及ぼす影響を調査した。その後、有孔引張試験を行い、最適な加工条件を実験的に探索した。その結果、落錘衝撃荷重によるパンチング加工は有効（図1参照）であり、室温下・エッジ付きパンチで表面繊維に対してエッジを平行になるようにパンチングすることでさらに高品位の穿孔を得ることができると明らかとなった。

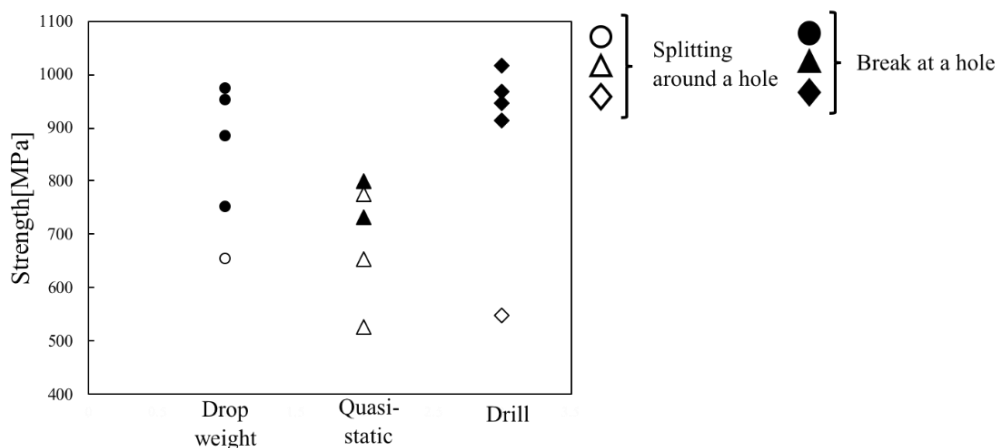


図1 フラットパンチによる準静的および落錘衝撃パンチングとドリル加工後の有孔引張強度の比較

(2) 力学的モデリングと加工条件の最適化

(<https://www.eng.kagawa-u.ac.jp/~matsuda/images/JKA2021seika.pdf>)

熱硬化性一方向CFRP積層板(UD積層板)に対して、パンチング加工を模擬した繊維配向角を可変させたせん断切断加工を行い、せん断強度に及ぼす繊維配向角の影響を調査した。次に、複合則により理論モデルを構築し、得た実験データを基にパンチングせん断強度を予測した。実験値は約305MPaであった。しかし、モデルによる予測値は240MPaとなり、およそ60MPa小さく、過小評価した(図2参照)。この原因は、同じせん断加工ではあるが、せん断切断とパンチング加工メカニズムが異なるためであると考えられる。

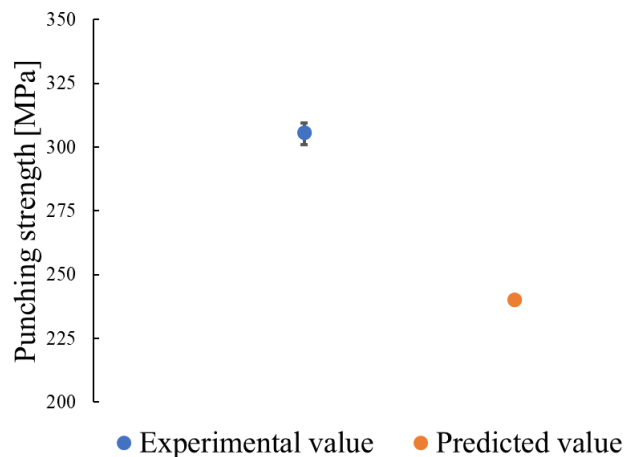


図2 パンチング強度の実験値と理論値の比較結果。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

高比強度なCFRPは、レジャー用品や大型高圧タンク・風力発電のようなエネルギー分野での市場に加えて、自動車など大量生産向け構造部材として適用されている。2030年にはCFRPの世界全体の市場規模は約5兆円程度、年間約50万トンの需要見込みであり、CFRP利用による

自動車の軽量化は、低燃費・CO2削減ができるためSDGsに貢献できる。一般的にCFRP構造部品はニアネットシェイプで製造されるため、様々なサイズ・形状の穴あけやトリミングなどの追加加工が要求される。大量生産に対応した生産性向上のためには、短時間での加工が要求されるが、CFRPは難加工材である。加工法として、ドリル加工やフライス加工のような一般的な除去加工法が挙げられる。これら加工法は、品質要求が高い場合、工具を頻繁に交換しなければならず加工中の時間ロスにつながる。他方で、アブレッシブウォータージェットやレーザー加工は、1つのユニットで様々な形状に加工できるが、複数の部品を加工する際に時間のロスが生じる。そこで機械的せん断加工は、生産性やコスト面で優れている。本事情で実施した落錘衝撃荷重によるパンチング加工は、室温下でエッジ付きパンチを用いることでドリル加工の品位に匹敵することが明らかとなった。このことにより、上記の課題を解決することができ、実用化が期待できる。

## 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

典型的な脆性材料であるモノリシックセラミックスの強度信頼性評価に関する研究に長く従事してきた。その成果として、動的・静的・繰返し疲労・高温下でのクリープ破断寿命・熱衝撃破壊特性について力学的観点から定量的に評価する手法を開発してきた。また、金属材料の疲労強度やクリープ寿命を評価する際によく使用されているGoodman線図やOrr-Sherby-Dornパラメータがセラミックスに対しても有効であることを理論的に明らかにしてきた。設備を設計製作するメーカーの多くは、金属を中心に用いて製造しているため、金属設計技術者が多く在籍している。すなわち、メーカーの金属設計者もセラミックスを使いやすいように評価手法を理論的に展開してきた。

2013年度から本事業と関連するCFRP積層板のパンチプレス加工技術の開発に従事してきた。本テーマでは工具に着目したいいわゆる「加工」ではなく、複雑な変形・損傷・破壊を示すCFRP積層板に対して材料強度学的観点からアプローチしてきた。複合材料に対する材料強度学的観点からのアプローチや炭素繊維はセラミックスと類似した脆性的な破壊挙動を示すため、先に述べたセラミックスの研究成果が大いに助力となっている。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

### 論文

1. Shinya Matsuda, Kohei Mabe, Keiji Ogi, Shigeki Yashiro, Yoshifumi Kakudo, Characterization of piercing damage in CFRP cross-ply laminates after punch shear machining via impact loading, *Journal of Composite Materials*, 55(28), 4111-4124 (2021.12)

### 学会発表

2. 藤本裕也, 松田伸也, 黄木景二, CFRP積層板のパンチプレス加工における累積損傷過程に及ぼす積層構成の影響, 第33回信頼性シンポジウム講演論文集, pp. 13-16 (2021).

3. 松田伸也, 黄木景二, 矢代茂樹, 落錘衝撃荷重によるCFRP積層板のパンチプレス穿孔加工, 日本機械学会 M&M2021材料力学カンファレンス, OS0142(2021).

4.

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

JKA補助事業成果報告書

(<https://www.eng.kagawa-u.ac.jp/~matsuda/images/JKA2021seika.pdf>)

室温(20°C)での加工では、引張強度は最大で900MPaを超える引張強さを示したが、全体的にデータのばらつきが大きかったことが確認された。破壊形態に注目すると、スプライン発生は1回であり、そのときの引張強度は616MPaであった。

6) パンチ形状とワーク温度の相互の影響  
エッジ付きパンチを用いた室温(20°C)での加工では、引張強度は最大で815MPaであった。室温でのエッジ付きパンチでは727MPa、室温でのフラットパンチ(Punch A)では690MPaであり、Punch Aを用いた室温(20°C)の加工と同様、データのばらつきが大きかったことが確認された。

落錘衝撃荷重によるパンチ加工は有効であり、室温下でエッジ付きパンチを用いて表面繊維に対してエッジが平行になるようにパンチングすることで高品位の穿孔を得ることができるとが明らかとなった。

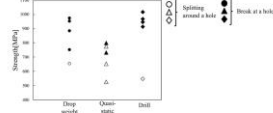


図1 フラットパンチによる準静的および落錘衝撃パンチングとドリル加工後の有孔引張強度の比較

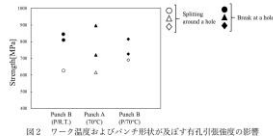


図2 ワーク温度およびパンチ形状が及ぼす有孔引張強度の影響

本研究は公益財団法人JKAから補助を受けて実施していることを付記し、感謝の意を表します。

鋭輪の補助事業 この報告書は、鋭輪の補助により作成しました。  
<https://ka-cycle.jp>

(2)(1)以外で当事業において作成したもの  
該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 香川大学創造工学部(カガワダイガクソウゾウコウガクブ)

住所: 〒761-0396

香川県高松市林町2217-20

担当者: 准教授 松田伸也(ジュンキョウジュ マツダシンヤ)

担当部署: 松田研究室(マツダケンキュウシツ)

E-mail: [matsuda.shinya@kagawa-u.ac.jp](mailto:matsuda.shinya@kagawa-u.ac.jp)

URL: <https://www.eng.kagawa-u.ac.jp/~matsuda/index.html>